

Gas Turbine Builders Association

Recomendaciones practicas para la operación segura de turbinas de gas a escala.

Revista Nº 9 - 5 Mayo 2009.

Contribuyentes.

Las personas citadas a continuación, contribuyeron en una o más de las tres reuniones celebradas para confeccionar ésta guía.
R. Appleton, P. Bailey, N. Bettis, R. Forrest, L. Hawrot, M.Murphy, P. O´Neill, P.Reynolds, A. Sheldon, M.S. Vanderstegen-Drake, G.S. Vaizey, R. Wardale, A.Wheeler, T.W.E. Wilkinson and J. Wright.
La introducción fue escrita por R.J. Cant.
Esta Guía fué editada por T.W.E. Wilkinson, (revista Nº 9 editada por R.J.Cant).

Indice.

Prólogo.

Esta guía de recomendaciones prácticas ha sido elaborada por miembros del GTBA, (Asociación de constructores de turbinas de gas), y se presenta de buena fe, para promover la construcción y operación segura de las turbinas de gas a escala reducida. El contenido de ésta guía ha sido elaborado con el conocimiento colectivo de personas que en los últimos años han acumulado una gran experiencia en la construcción y manejo de turbinas de gas enfocadas a aviones a escala.

Aunque se han hecho todos los esfuerzos para evitar errores y omisiones, los autores no pueden asumir responsabilidades derivadas de la aplicación de ésta guía. La operación segura de cualquier turbina de gas debe permanecer únicamente en la responsabilidad del usuario.

Esta guía incorpora las opiniones y la aprobación del comité técnico R/C del British Model Flying Association y está ratificada por la Jet Model Association.

Definiciones.
Las personas que quieran basarse en ésta guía, tienen que ser conscientes del significado de algunas palabras.

“Tiene que” Indica una obligación absoluta de cumplimiento. Bajo ningún concepto se deberán incumplir éstas recomendaciones.

“Debe” Indica una obligación de ser cumplido, siempre que sea posible, pero permite hacer excepciones en situaciones del todo excepcionales. Tiene que haber siempre una buena razón para su incumplimiento.

“Debería” Indica una recomendación en la actuación, basada en la experiencia colectiva. No deben esperarse daños por su incumplimiento.

Introducción

Las turbinas de gas y aviones a escala comparten por si mismos la mayoría de las recomendaciones de seguridad que las turbinas de gas y aviones reales. Cualquiera que se embarque en la construcción de un avión propulsado por éste tipo de motor, debe familiarizarse con éstas recomendaciones, que están detalladas, en , (entre otros) el BMFA. Las recomendaciones de seguridad específicas para turbinas de gas, se podrían resumir en las siguientes:

a) Peligro de daños e incendio causados por los gases de escape a alta temperatura.
b) Peligro de incendio después de un accidente, producido por las partes calientes del motor y agravado por las relativamente altas cargas de combustible a bordo.
c) Peligro de incendio causado por sobrecalentamiento debido a un arranque defectuoso, o a un fallo del motor.
d) Peligro de incendio o explosión debidas a la mala utilización de propano líquido, o combustibles similares.
e) Peligro causado por el relativamente gran tamaño, potencia y carga alar de la mayoría (aunque no todos) los aviones propulsados por turbina. Estos peligros, por supuesto también se presentan con muchos otros tipos de grandes y potentes modelos.
f) Problemas de manejo en tierra, relacionados con el alto empuje a ralentí de algunos motores.
g) Riesgo de lesiones provocadas por las partes o componentes del motor que pueden salir despedidos a alta velocidad después de un fallo catastrófico del motor.

Para prevenir o minimizar éstos riesgos, debemos seguir éstas recomendaciones.

i. Asegurar que los usuario y pilotos tienen un alto nivel de habilidad conocimientos y experiencia que les permitan evitar situaciones de riesgo.
ii. Asegurar que los fallos e incidentes ocurran lo menos frecuentemente posible, poniendo especial atención a las cuestiones relativas a la fiabilidad, siendo cuidadosos y sistemáticos en los procesos de diseño, operación y mantenimiento.

iii. Proveer a los motores de sistemas de “fail safe” y de sistemas de corte de motor siempre que sea posible, para minimizar los daños en caso de fallo.

iv. Operar el motor en un régimen de potencia conservativo, para proveerle de un margen en caso de que el régimen de giro, o temperatura se incrementen por algún motivo.

v. Diseñar la carcasa exterior de modo que sea capaz de contener las partes rotantes del motor en caso de desintegración.

vi. Poner atención de dónde y cuando se vuela, (o opera el motor) para garantizar la seguridad de la gente y del entorno.

Téngase en cuenta que no deberíamos seguir estos enfoques al pie de la letra, ya que uno de ellos, puede comprometer al otro, por ejemplo, un motor sobredimensionado con una potencia conservadora, puede llevar a un avión con una baja relación peso-empuje y una alta carga alar, con alto riesgo de accidentarse y provocar daños. El enfoque total de seguridad nos lo dará el compromiso entre éstos factores, aunque vi debe mantenerse como el más crítico.

Guía práctica.

1. Diseño

1.1. Todos los motores, y diseños tienen que estar sujetos a pruebas rigurosas antes de su operación en público, para establecer una historia de servicio y asegurar que todos sus componentes soportarán los esfuerzos derivados de su funcionamiento.

1.2. Todos los materiales utilizados tienen que ser adecuados para el uso que se les va a dar.

1.3. Para diseños de motores publicados, o fabricados comercialmente, no usar nunca materiales con especificaciones diferentes a las especificadas, ni hacer modificaciones a componentes sin la aprobación del diseñador o el fabricante.

2. Control y protección del motor.

2.1. Los motores en fase de desarrollo, tienen que ser rigurosamente probados, y durante las pruebas tienen que estar protegidos para no exceder los parámetros de diseño, principalmente velocidad de rotación y temperatura.

2.2. Los motores tienen que estar protegidos contra el exceso de velocidad de rotación y temperatura limitando el caudal de combustible por medio de “fail safe”

2.3. El control del motor debe disponer de un sistema de protección que apague el motor en caso de que la velocidad de rotación baje de un cierto valor.

2.4. El sistema de control de combustible debe estar diseñado para evitar que el motor trabaje a temperaturas más altas de las permisibles en su operación normal.

2.5. El sistema de control de motor, debe siempre que fuera posible retornar al motor dentro de parámetros permisibles, y sólo apagarlo completamente, cuando no hubiese otra opción.

2.6. Arranque y funcionamiento estático.

Cuando un motor vaya a ser probado estáticamente en bancada, avión, barco, o cualquier tipo de vehículo, tiene que ser intercalada una válvula manual de corte de combustible, o un interruptor eléctrico para la bomba.. Tiene que ser independiente del control de acelerador del motor. Si es una válvula de corte de combustible, ésta debe colocarse en el lado de baja presión, o sea, entre el

depósito y la bomba. En sistemas de combustible presurizado, (gas) ésta debe estar colocada lo más cerca posible del motor, para asegurar una parada rápida del motor.

2.7. Operación por control remoto.

Los siguientes párrafos son sólo aplicables a motores controlados de forma remota de modo que el control citado en 2.6 no es accesible.

2.7.1. Mecanismos de parada.

El sistema de control tiene que incorporar dos sistemas independientes de corte en la alimentación de combustible. Ambos tienen que poder ser operados de forma remota. Uno de ellos será la válvula o el controlador de la bomba. El otro podría ser una válvula controlada por un servo, en cuyo caso aplica el párrafo 2.6 para su colocación. Alternativamente, se puede colocar un relé o transistor intercalado en el circuito de la bomba.

2.7.2. Operación de "Fail safe"

Los modelos propulsados por turbina de gas, tienen que incorporar un "fail safe" que parará el motor, (preferiblemente por medio de los dos sistemas) en caso de una pérdida de señal de radio. Es aceptable que haya un pequeño retraso en la parada, (del orden de un segundo o menos) entre la pérdida de señal y la parada del motor, tal y como incorporan comúnmente los sistemas PCM. Este sistema tiene que ser programado correctamente, y bajo ninguna circunstancia debe ser dejado por defecto. Cuando los dos mecanismos sean controlados por la misma unidad de control, ésta debe configurarse para que en caso de fallo de la misma, al menos uno de los dos sistemas se active

2.7.3. Interruptor de encendido

Los equipos de radio usados para el control remoto de turbinas de gas, tienen que incorporar un interruptor que apague instantáneamente el motor al ser accionado. Este control debe ser fácilmente accesible, y su funcionamiento independiente de la posición del acelerador.

3 Sistemas de alimentación.

3.1 Cuando sea posible, el depósito debe estar localizado en un compartimento separado del motor. El depósito tiene que estar aislado del calor del motor.

3.2 El deposito y los sistemas de alimentación tienen que estar asegurados debidamente y protegidos para minimizar el riesgo de ruptura en caso de accidente.

3.3 El uso de depósitos flexibles y bolsas de plasma no está recomendado. Si se usa éste tipo de depósito, tienen que estar en un compartimento aparte del motor, para evitar la posibilidad de ingestión.

3.4 Los tubos, conectores y todo el equipamiento asociado tienen que ser verificados para demostrar la resistencia a la presión impuesta, sin fugas o fallos cuando el motor está trabajando a potencia máxima. Debe hacerse un agujero de drenaje en las partes del modelo donde se pueda acumular combustible en caso de fuga.

3.5 Los tubos y material asociado tienen que estar fabricados con materiales adecuados para el trabajo requerido y que puedan hacer frente a las condiciones del entorno de la instalación.

3.6 Para las líneas de gas y combustible se deben usar tubos separados, para evitar que el gas pueda retornar al depósito de combustible.

3.7 Los depósitos de combustible de los motores alimentados por combustible líquido, no deben estar sometidos de ninguna manera a alta presión. Se puede utilizar baja presión (en sistemas que lo soporten) hasta un máximo de 5 psi. (0.35 bar) con el propósito de mejorar el flujo del combustible entre el depósito y la bomba.

3.8 Los depósitos para combustibles gaseosos son depósitos de presión, y tienen que ser certificados como tales.

3.9 Todos los depósitos y líneas de combustible deben ser verificados regularmente, y sustituidos en caso de estar deteriorados, poniendo especial atención al endurecimiento de los tubos y juntas de los racores sometidos a presión.

3.10 Solo se debe utilizar combustible limpio y filtrado, y se adoptarán medidas para no contaminar el sistema de alimentación de combustible.

4 Sistemas de lubricación.

4.1 El depósito de aceite debe estar colocado de modo que se pueda verificar fácilmente el nivel de aceite.

4.2 El sistema de lubricación tiene que estar diseñado, (o el usuario tomará las medidas necesarias) para que cuando no se use, el aceite no pueda entrar por sifón, o expansión térmica dentro del motor.

4.3 El depósito de aceite debe estar posicionado lo más cerca posible del motor, o se debería purgar la línea de lubricación para minimizar el tiempo hasta que comienza la lubricación en el arranque.

4.4 En aplicaciones en aviones, el sistema debe ser capaz de mantener un suministro continuo o mantener al mínimo las interrupciones debidas a las maniobras de vuelo.

4.5 El caudal de aceite tiene que estar controlado para entregar la cantidad especificada por el diseñador o fabricante.

4.6 Debe colocarse un filtro aguas arriba de cualquier restrictor o regulador de caudal.

4.7 Debe usarse siempre aceite apropiado, válido para turbinas de gas

4.8 Los tubos de lubricación y todo el equipamiento asociado, tienen que estar hechos de materiales adecuados para resistir el servicio encomendado, y que puedan resistir las condiciones de trabajo de la instalación. Tienen que hacerse revisiones periódicas para asegurarse que los tubos y equipamiento no se han degradado por envejecimiento.

4.9 Los tubos y equipamiento asociado tienen que ser capaces de resistir la máxima presión del sistema de lubricación, sin fugas ni fallos.

4.10 Deben ponerse los medios para estar seguro que se ha establecido el caudal de lubricación, una vez arrancado el motor.

5 Instalación

5.1 Los motores tienen que estar montados y anclados de forma segura, para garantizar que se mantienen sujetos a todos los regímenes de funcionamiento.

5.2 Todos los componentes de cualquier tipo en las vecindades del motor, tienen que estar perfectamente sujetos para evitar la ingestión por parte del motor.

5.3 El motor tiene que estar protegido contra daños por objetos extraños, (FOD, Foreign Object Damage) por medio de rejillas adecuadas.

5.4 Los tubos, cables, etc, deben ser guiados lejos de las partes calientes del motor, o ser adecuados para alta temperatura.

5.5 Hasta que se gane la experiencia adecuada en el manejo de motores, los aviones o cualquier tipo de vehículo, deben llevar montada la turbina externamente.

5.6 Para turbinas instaladas internamente, se tiene que proporcionar la protección adecuada de los gases calientes del motor.

5.7 El empuje a ralentí de una turbina de gas puede ser muy alto. Si el modelo no se mantiene parado con el motor a ralentí, tienen que tomarse medidas para que así sea. Téngase en cuenta que el comportamiento del avión puede variar en función del tipo o naturaleza del pavimento.

6 Operaciones de seguridad.

6.1 Fuego.

6.1.1 Siempre tiene que estar presente un extintor de dióxido de carbono, o equivalente, y una persona entrenada para su uso, cuando se operen turbinas de gas

6.1.2 No se puede arrancar una turbina de gas si el entorno circundante presenta riesgo de incendio, a menos que se tomen las precauciones adecuadas para anular dicho riesgo.

6.1.3 Está prohibido fumar, o cualquier otro tipo de ignición en un radio de 50 metros cuando se trasiegue, o se reposten gases inflamables. Debe haber indicadas áreas de repostaje si se está operando en público un motor alimentado por gas.

6.1.4 Toda ventilación de gases inflamables tiene que hacerse de una manera segura, al menos en un radio de 50 metros, y nunca contra el viento, de modo que pueda dirigirse a otras turbinas en funcionamiento.

6.1.5 Todos los combustibles tienen que almacenarse en contenedores apropiados, indicando claramente su contenido.

6.1.6 El riesgo de incendio constituye el mayor peligro y por ello hay que tener conciencia y un completo entendimiento de sus posibles causas. Estas incluyen:

6.1.6.1 Combustible residual en motor tras un arranque fallido.

6.1.6.2 Proceso de arranque incorrecto

6.1.6.3 Rozamientos internos en el motor.

6.1.6.4 Exceso de aceite de lubricación introducido durante el purgado del circuito.

6.1.6.5 Elementos bloqueado parcialmente la entrada de aire, que reduzcan las prestaciones del compresor

6.1.6.6 Inyectores atascados

6.1.6.7 Encharcado del interior del motor tras parar la bomba de combustible.

6.1.6.8 Cono de salida apuntando hacia el viento en el proceso de arranque.

6.2 Prueba de funcionamiento

6.2.1 Deben utilizarse protocolos escritos antes, y durante el funcionamiento del motor.

6.2.2 Las pruebas iniciales de un prototipo no deben hacerse en público. Sólo deben estar presentes las personas esenciales para la operación del mismo, o para las operaciones de seguridad.

6.2.3 Siempre debe usarse una bancada con el motor bien fijado a ella, y en una zona limitada y controlada.

6.2.4 El área de pruebas tiene que estar ventilada adecuadamente.

6.2.5 En pruebas prolongadas en bancada, deben tomarse medidas de protección auditiva y ocular

6.2.6 Cualquier anomalía mecánica que se detecte, (vibración, ruido excesivo, exceso de temperatura, exceso de rpm, etc), tiene que ser investigado y corregido antes de volver a arrancar el motor.

6.2.7 Durante las pruebas en tierra, particularmente en zonas pobladas hay que tener consideración para evitar molestias debidas al ruido.

6.3 Operación en público

6.3.1 Un motor sólo se puede hacer funcionar en público, cundo el operador esté familiarizado, y sea totalmente competente en cuanto a su uso y manejo.

6.3.2 Todo motor que se vaya a poner en funcionamiento tiene que ser llevado a una distancia segura de las personas no necesarias para su puesta en marcha, con la tobera de salida de gases apuntando en dirección contraria a ellos. Cuando la dirección del viento obligue a apuntar hacia personas o propiedades, (debido a 6.1.6.8), la distancia de la tobera hasta las personas o propiedades se tendrá que incrementar hasta el punto de que los gases de escape y la temperatura de los mismos no tenga ninguna consecuencia hacia ellos.

6.3.3 No se tiene que permitir a nadie colocarse en el plano de rotación del compresor o turbina de un motor en marcha.

6.3.4 Se tiene que prestar particular atención a la organización y limpieza del lugar, para reducir el riesgo de daños en el motor por ingestión de objetos extraños y prevenir que alguno objeto pueda salir despedido por el chorro de gases de salida del motor.

6.4 Instrucciones de uso

6.4.1 Las instrucciones de uso del diseñador, o fabricante tienen que ser seguidas en todo momento.

7 Mantenimiento

7.1 El mantenimiento de un motor debe hacerse de una forma regular. La frecuencia y alcance de las operaciones a realizar dependen de la instalación del motor, experiencia e instrucciones del fabricante, y varían entre inspecciones externas antes del vuelo, a desmontaje e inspección del motor en los intervalos establecidos.

7.2 Como mínimo, tienen que realizarse las siguientes verificaciones antes del vuelo.

7.2.1 Inspección visual de las líneas de lubricación y combustible.

7.2.2 Inspección visual de las ruedas de compresor y turbina, buscando cualquier tipo de daño. El menor daño en la rueda del compresor podría indicar serios daños en el interior producidos

por un cuerpo extraño, que tienen que ser investigados antes de que el motor sea arrancado de nuevo.

7.2.3 Inspección visual de los filtros (si es posible) para asegurarse de que están libres de contaminación.

7.3 Como mínimo, tienen que realizarse las siguientes verificaciones a intervalos regulares, preferiblemente antes de cada sesión de vuelo.

7.3.1 Limpieza de filtros de combustible y aceite.

7.3.2 Verificación de que los sistemas de combustible y aceite no tienen bloqueos.

7.3.3 Verificar el deterioro y daños de la instalación de motor y sistemas.

7.4 Es muy útil y recomendable tener un registro individual de cada motor, en el que se registrará:

7.4.1 Fechas en las que se ha puesto en marcha el motor

7.4.2 Duración del funcionamiento del motor.

7.4.3 Tiempo total acumulado hasta ese momento.

7.4.4 Fecha y detalles de cualquier intervención, mantenimiento o trabajo de reparación llevada a cabo, incluyendo las piezas sustituidas.

7.4.5 Cualquier otro detalle que sirva para crear una historia de servicio y para establecer intervalos de mantenimiento.

8 Cualificaciones del usuario.

8.1 Los usuarios inexpertos deben, cuando sea posible pedir asistencia a un usuario experto antes de poner en marcha el motor. Si dudas, pide ayuda.

8.2 Para coger experiencia en el procedimiento de puesta en marcha y las características de funcionamiento del motor, los primeros arranques tienen que ser en bancada. No se debe operar el motor en público hasta que se haya adquirido la experiencia necesaria.

9 Vuelo.

Los usuarios en UK tienen que cumplir con los requerimientos de la publicación Civil Aviation Authority publications CAP658 “Small (Model) Aircraft: A Guide to safe Flying” y la publicación actualizada de BMFA Members Handbook

Los usuarios de turbinas de gas deben haber alcanzado una aptitud de vuelo reconocida al menos equivalente al BMFA Power Achievement Scheme “B” Certificate.

La operación de turbinas de gas requiere que el usuario tiene que ser consciente de las características de vuelo derivadas del uso de éste tipo de motores., poniendo particular atención en:

9.1 Retraso de respuesta del motor al actuar sobre el acelerador

9.2 Las altas velocidades que se pueden alcanzar debido a que el empuje no decrece al aumentar la velocidad del modelo

9.3 El alto empuje residual a ralentí, que dificulta la deceleración del modelo para el aterrizaje.